

# 信号系の最適オフセットパタンの近似解

An Approximately Optimum Offset Pattern of Traffic Signal Systems

越 正 毅

Masaki KOSHI

## 1. 概 要

信号群による交通の総遅れおよび総停止回数の加重和を測度とした、任意の信号系の系統制御オフセットパタンの計算法について述べる。このような測度による最適解の解法はまだ見だされておらず、ここに述べる計算法もかならずしも理論的な最適解を与えるものではない。

遅れと停止回数との加重和を測度として選んだ理由は、低速の交通流に対しては遅れが、高速の交通流に対しては停止回数が大きなウェイトを占めるであろうと考えたためであり、それぞれに乗ずる係数は任意に選べるようにした。

遅れあるいは停止回数は、信号に到着する交通の密度パターン、オフセット、スプリット（青の長さ）およびその進入路の飽和交通量によって決まるが、ある信号に到着する交通の密度パターンはそのひとつ手前の信号からの流出交通によって決まるので、けっきょくある信号に到着する交通の密度パターンはその交通がその信号に至るまでに通過したすべての信号のオフセット、スプリットおよび飽和交通量の関数となる。飽和交通量およびスプリットはオフセットとは一応独立に決まると考えられるので、これらを定数とし、遅れまたは停止回数をオフセットの関数として一般的に、しかも取り扱いやすい形で表現することができるならば、理論的なオフセットパタンの最適解を得ることも可能である。しかしそのような表現法は当面見当たらない上に、実際上の問題として、系内のどの信号についてもその待ち行列の最後尾がそのひとつ手前の信号にまで及んではならないという条件があり、また右左折や他の交通施設（駐車場、細道路、高速道路出入口など）との出入交通の存在や、交通の速度分布（速い車と遅い車）の影響など、数式取り扱い上厄介になりそうな問題も場合によっては無視できない。

以下に述べようとする計算法は、上述のような事情を考慮して、電子計算機を用いて遅れと停止回数の加重和を漸減させながら漸近計算によってオフセットパタンの近似最適解を求めようとするものである。

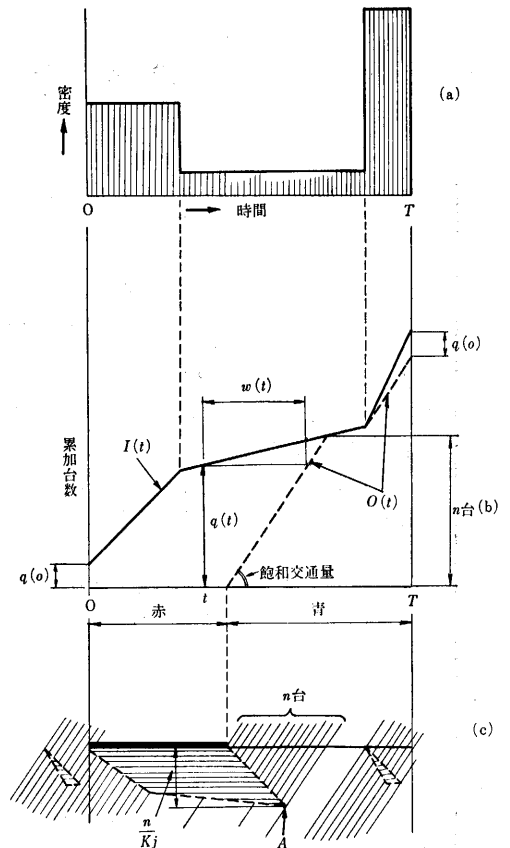
系内には複数個の路線が任意に配置されていてよい。系内の各信号には互いに独立な 4 個までの車両用フェーズを設けることができる。

銀座地区の 36 個の信号を含む格子状系について、OKITAC 5090 H を用いて行なった計算では、ひとつの周期に対するオフセットパタンの解を得るのに、条件に

よって 150~180 分の計算時間を要した。計算時間を短縮するためのプログラムの手直しは可能と考えられるので今後の作業としたい。

## 2. 遅れ、停止回数および待ち行列

図・1(a) に示すような密度パタンの交通がある信号



図・1 遅れ、停止、待ち行列

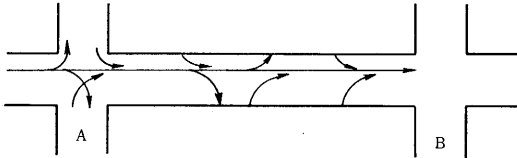
に到着するとき、到着する交通と発進する交通の累加台数はそれぞれ図・1(b) に示される  $I(t)$  および  $O(t)$  のようになる。時刻  $t$  における待ち台数は  $q(t) = I(t) - O(t)$  で表わされ、時刻  $t$  に到着する車の待ち時間は図・1(b) において  $w(t)$  で示される。したがって 1 周期当たりの総遅れは、 $\int_0^T (I(t) - O(t)) dt$  として計算される。

図・1(c) は車の進行と停止とを示すもので、待ち行列の最後尾の位置は A 点であることが知られる。すなわち図・1(b) において、待ちが青になって以来初めて解

消する時刻までに流出した車の台数を飽和密度で除した値  $n/K_j$  で表わされる. この計算法には, A点が隣接信号より遠くなるようなオフセットは選ばれないように条件を与えてある.

### 3. 流出入交通

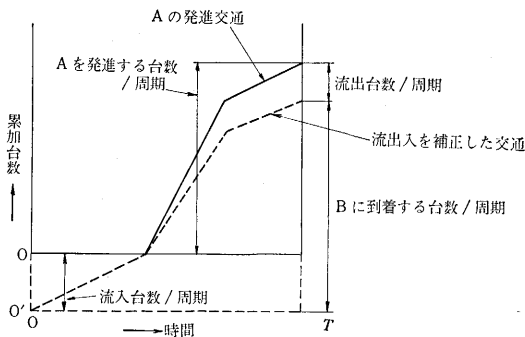
図・2 に示すように信号Aを発進した交通のうち, な



図・2 流出入交通

にほどかはAにおいて右左折して交差路側に流出してしまい, 残りのAを直進した交通のうち, さらににほどかはBに到着せず途中で駐車したり, 他の交通施設に流出したりする. またその反面, Aにおいて交差路側からB方向に右左折して流入する交通や, Bに至る途中で他の交通施設からB方向に流入する交通がある. この現象は特に流出入交通が多い場合には系統制御にとって無視できない因子となる.

この計算では, 流出する交通はAを発進した交通の中に均等に含まれているものとし, 流入する交通はAにおける赤表示のためにA→B方向の直進交通が流れていない間に均等に流入するものと仮定して, 図・3 に示すように流出入交通による密度パタンの変化を処理してい



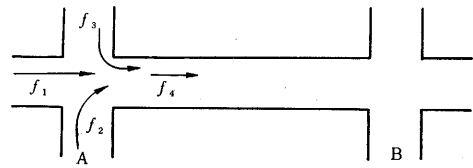
図・3 流出入交通による交通密度パタンの変化

る. AB間において流出入する交通量はもちろん与えられなければならない.

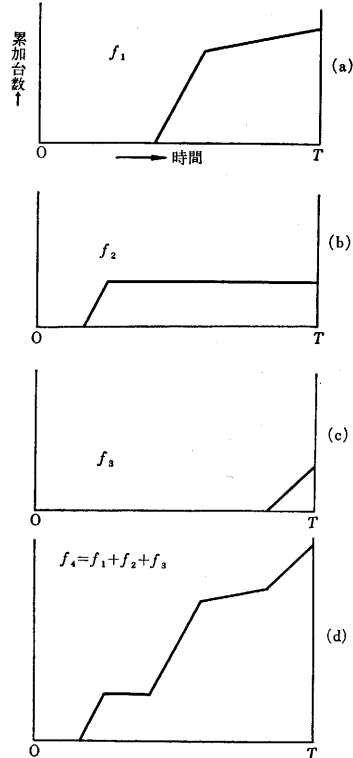
また図・4 に示されるような場合で,  $f_1, f_2$  および  $f_3$  がそれぞれ独立のフェーズでさばかれている場合には, 図・5 に示すように  $f_1, f_2$  および  $f_3$  を加え合わせた  $f^4$  をもって図・3 におけるAの発進直進交通に相当する交通として取り扱うこともできる.

### 4. 交通の速度および速度分布

交通の速度は各信号間隔ごとに往復別とその信号間隔を平均速度で走行するに要する時間として与える. した



図・4 相異なるフェーズでさばかれる交通が同一の方向に向かう場合



図・5 相異なるフェーズでさばかれる発進交通の和

がって交通の平均速度は区間により, および往復別に相異なってもさしつかえない.

速度分布も場合によっては無視できない. 信号間隔が非常に大きければ系統制御の必要なくなる大きな理由はこの速度分布の効果である. 一般に信号間隔が大きいほどオフセットの最適値からの狂いに対して鈍感なので, 系内のどの信号間隔も満足するようなオフセットパターンが存在しない場合には, この効果を定量的に利用する必要がある. ここでは次式によって速度分布の効果を処理している.

$$\rho'(t) = (\rho(t) - \bar{\rho}) \frac{1}{1 + K \cdot d} + \bar{\rho}$$

- ここに  $\rho'$ : 速度分布によって変形した交通の密度
- $\rho$ : 速度分布を考えない場合の交通の密度
- $\bar{\rho}$ : 平均密度
- $K$ : 任意定数

研究速報

$d$ : 2 信号間を平均速度で走行するに要する時間

すなわち、走行所要時間がゼロなら速度分布の効果は現われず、信号間隔が無限度であれば一様な交通流 ( $\rho(t) \equiv \rho$ ) となる。

5. 系の末端信号への系外からの到着交通

系の末端信号への系外からの到着交通としては、一様流として与える方法と、任意の密度パターンで与える方法との 2 通りが選べる。前者は系外の最も近い信号との間隔が非常に大きい場合を想定したものであり、後者は同じ周期で制御される隣接系との関連を考慮する場合を想定したものである。

6. 漸近計算

系内の相隣る 2 信号間の道路区間を単位区間と名づける。また、遅れおよび停止回数加重和を便宜上単に損失と呼ぶことにする。

任意のオフセットパターン初期値と与えられた周期について、すべての単位区間で生ずる損失を計算する。また、各単位区間端部への到着交通パターンが初期値オフセットパターンにおけるのと同じであるとする近似的な仮定のもとに、各単位区間両端の信号のオフセット差 (単位区間の相対オフセット) が初期値  $\pm p_1$  の値となった場合の損失を計算する (この仮定は非常に重要であって、ここに述べる計算法が可能となったのはこの仮定を設けたゆえであり、またこの計算法が常に理論的な最適解を与える保障を失ったのもこの仮定ゆえである)。

このようにして得られた損失の値を用いて、 $p_1$  なる刻みで、上の仮定のもとでの各単位区間の相対オフセット、次に各信号の絶対オフセットを、損失が最小になるように決める。系の tree 状の部分については各単位区間の最適相対オフセットをそれぞれ独立に選び、それらを単純に順に加算することによって各信号の絶対オフセットを求めることができる。ループ状の部分については、ループの核点間を連絡する区間 (2 以上の単位区間より成ってもよい) を核点区間と呼ぶことにして一つの単位として扱い、核点区間の両端の信号 (核点信号) のオフセット差 (核点区間の相対オフセット) とその相対オフセットに対して核点区間の損失を最小にするよう

な、その核点区間を構成する各单位区間の相対オフセットの組み合わせと損失量との数表を作製し、この数表を用いてループ系全体として最小の損失を与えるように各核点信号のオフセットを移動する。核点信号のオフセットが決まれば先に作製した数表からループ系内の核点信号以外の信号のオフセットも決まる。

このようにして得られた第 1 次近似解を次に新たな初期値として用いて同じオフセットの刻み値  $p_1$  で上と同様の計算を実行する。これによって前述の到着交通パターンについての仮定のチェックをすることができる。第 2 次近似解が第 1 次近似解と等しければ刻み値を  $p_2 (< p_1)$  として第 3 次の計算に移り、第 1 次近似解と異なる第 2 次近似解が得られた場合には、第 2 次近似解を新たに初期値として刻み値を  $p_1$  のままにして第 3 次の計算を行なう。以下同様に計算を進め、刻み値を順に小さくしてゆき、最小刻み値での計算を終了したら初めに与えられた周期についてのオフセットパターンの計算は終了し、必要事項をタイプアウトして次の周期についての計算に移る。相対オフセット移動の刻み値として、現プログラムでは  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  のそれぞれに対し、周期の 50, 24, 12, 6, 2% をとっている。

相対オフセットの刻み値  $p_i$  から  $p_{i+1}$  に移る条件であるが、前述のように第  $n$  次近似値と第  $n+1$  次近似値とが等しくならない場合があり、損失も常に漸減するとは限らない。ある刻み値  $p_1$  で近似の回数を重ねるたびに損失が漸減する場合には無条件でその刻み値での計算を続行するが、近似計算の回数を  $m$  回重ねてもすでに得られている最小の損失より小さな損失を与える解が得られない場合、およびすでに得られたことのあるオフセットパターンに等しい解が現われた場合 (循環する場合) には、すでに得られている解の中で最小の損失を与える解を初期値として用いて  $p_{i+1}$  の刻み値に移ることにしている。 $m$  の値としては現在 3 を用いている。

ある単位区間の相対オフセットを、なんらかの事情によって初めに与えた初期値から変更することができないか、または変更することが好ましくない場合がある。この計算法ではその条件を任意に与えることができる。

(1966 年 1 月 12 日受理)

正 誤 表 (2 月号)

ページ	段	行	種 別	正	誤
13	左	5	本文	粉	紛
"	"	11	"	"	"
23	右	21	式	$= \frac{B_0 H_0 a^3}{t_0^3} \dots\dots$	$= \frac{B_0 H_0 a^3}{t_0^3} \dots\dots$